

через вещество, и получили некоторое представление о профиле генерации по глубине дефектов Френкеля, т. е. рассмотрели первичные процессы дефектообразования.

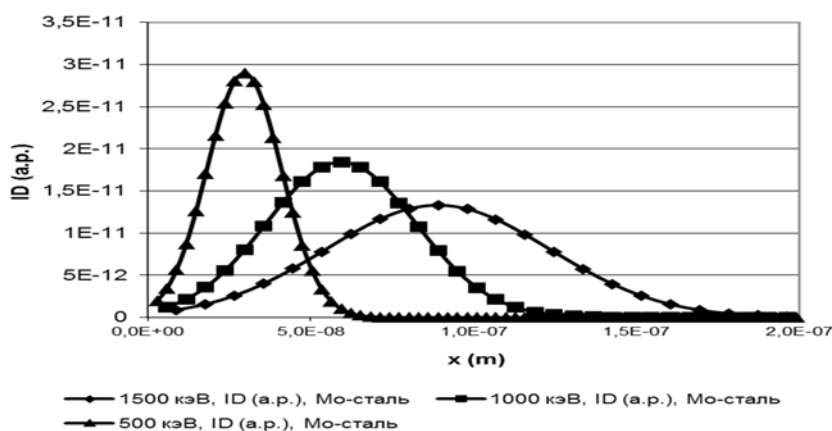


Рисунок 3. Зависимость концентрации смещенных атомов при имплантации ионов молибдена в сталь при разных энергиях.

### Заключение

Была разработана компьютерная программа на основе литературных данных по расчету распределения имплантированных атомов на глубине образца, по распределению температуры при облучении пучком электронов. Данная программа позволяет провести расчеты концентрации примеси по глубине образца, температуру в зависимости от энергии ионов и дозы облучения. Данный алгоритм может быть использован при разработке радиационных технологий, в частности ионной имплантации.

### Список литературы:

1. И. А. Аброян, А. Н. Андронов, А. И. Титов. Физические основы ионной и электронной технологии. – Москва.: Высшая школа, 1984.
2. Шиллер Э., Гайзиг У., Панцер З. Электронно-лучевая технология: Пер. с нем. – М.: Энергия, 1980.
3. Пранявичюс Л., Дудонис Ю. Модификация свойств твердых тел ионными пучками. – Вильнюс: Мокслас, 1980.

### Исследование структуры тонких пленок оксида и нитрида меди, полученных магнетронным напылением при различном составе атмосферы

Ажгихин М.И., Шульте Й., Элмер К.  
ashg@sibmail.com

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Ан В.В., Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет

*Аннотация. В настоящее время становится актуальным разработка солнечных элементов на основе соединений меди. В связи с этим становится важным выяснить оптимальные условия получения тонких пленок. Для этого в данной работе исследована структура пленок оксида и нитрида меди, полученных методом*

*магнетронного напыления постоянного тока. Рассмотрена динамика изменения напряжения и вольтамперных характеристик при увеличении концентрации активного газа.*

В настоящее время происходит стремительный рост потребления энергии, причем основная часть энергии берется от использования ископаемых энергоносителей (нефть, газ, уголь и т.д.). В связи с этим происходит истощение доли ископаемых ресурсов планеты и ухудшение экологической обстановки. Поэтому разработка альтернативных источников энергии является одним из самых актуальных проблем современного общества. Одним из возможных источников альтернативной энергии является получение и накопление солнечной энергии с помощью солнечных элементов. Применение в качестве полупроводникового материала соединений меди обусловлено низкой токсичностью материалов, высоким коэффициентом абсорбции света в видимом диапазоне, широкой доступностью и, как следствие, относительной низкой стоимостью [1].

Одним из возможных вариантов синтеза и напыления тонких пленок служит магнетронное напыление, в связи с тем, что данный метод получения наноматериалов является чистым, позволяет контролировать состав осаждаемых пленок, толщину напыления, а также обеспечивает достаточную адгезию пленки.

Целью данной работы является исследование структуры пленок, полученных методом магнетронного напыления при различных соотношениях пассивного и активного газов.

**Экспериментальная часть.** Пленки оксида и нитрида меди были получены методом магнетронного напыления постоянного тока в средах активного ( $O_2$ ,  $N_2$ ) и пассивного (Ar) газов при температуре  $26^{\circ}C$ . Конструкция магнетрона планарная, мощность разряда при вариации составов газов Ar и  $O_2/N_2$  составляла 50 Вт. Для напыления использовали медную мишень диаметром 5 см, толщиной 6 мм. Чистота материала мишени 99,99%. Напыление проводилось на стеклянные подложки, предварительно обработанные в изопропанол в ультразвуковой ванне и промытые дистиллированной водой.

Кривые гистерезиса были исследованы путем изменения соотношения газов и параллельной регистрацией напряжения. Сначала повышали содержание реактивного газа (РГ) от 0% до 100% и снижали обратно до 0%. Изменение состава газов происходило каждые 90 с, из которых 60 с затрачивались на ожидание стабильного напряжения разряда, а во время оставшихся 30 с происходил сбор данных о величине напряжения.

Вольтамперные характеристики разряда среде активного и пассивного газов (ПГ) определялись путем изменения мощности разряда со 120 Вт до 10 Вт с параллельным сбором данных о токе и напряжении разряда. Время ожидания стабильных параметров составляло также 90 с.

Исследование фазового состава пленок оксида и нитрида меди, полученных при долях активных газов 5%, 33% и 66%, проводили на дифрактометре D8 ADVANCE BRUKER AXS. Тип сканирующего пучка – скользящий.

Экспериментальная часть работы проводилась в Берлинском Гельмгольц Центре Материалов и Энергии.

**Результаты и обсуждение.** Для определения процессов, происходящих на поверхности мишени в ходе напыления, были построены вольтамперные характеристики (ВАХ) для разряда, происходящего в следующих средах: Ar,  $O_2$ ,  $N_2$  (рис. 1).

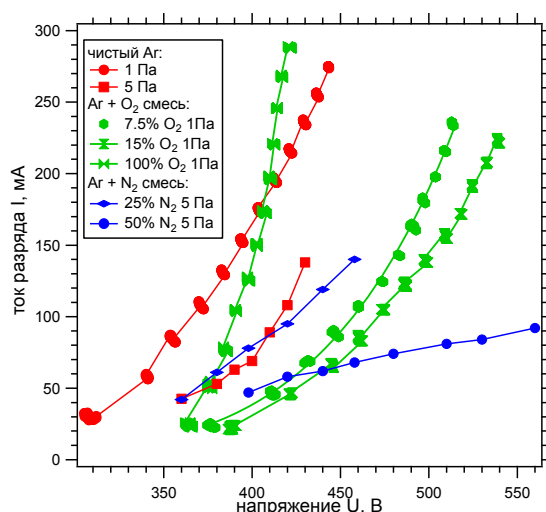


Рис. 1. Вольтамперная характеристика разряда при использовании медной мишени, находящейся в средах различных газов. ВАХ для газов с давлением 5 Па взяты из [2]

Как известно из [3, 4], напряжение разряда и наклон кривой вольтамперной характеристики зависит от материала используемой мишени и от содержания РГ в атмосфере камеры. Отсюда следует, что при воздействии РГ на поверхность мишени, будут изменяться характеристики разряда, что и можно видеть на рисунке 1. При увеличении доли кислорода до 15% сначала происходит смещение кривой вправо с уменьшением наклона, затем при достижении 100% содержания кислорода кривая смещается влево и увеличивается наклон. Для кривых, полученных в среде азота можно видеть, что наклон уменьшается при увеличении содержания РГ. Как было сообщено в [3, 4] чем меньше наклон кривой ВАХ, тем выше напряжение разряда.

На рисунке 2 представлены кривые гистерезиса для тлеющего разряда при различных значениях соотношений РГ и ПГ.

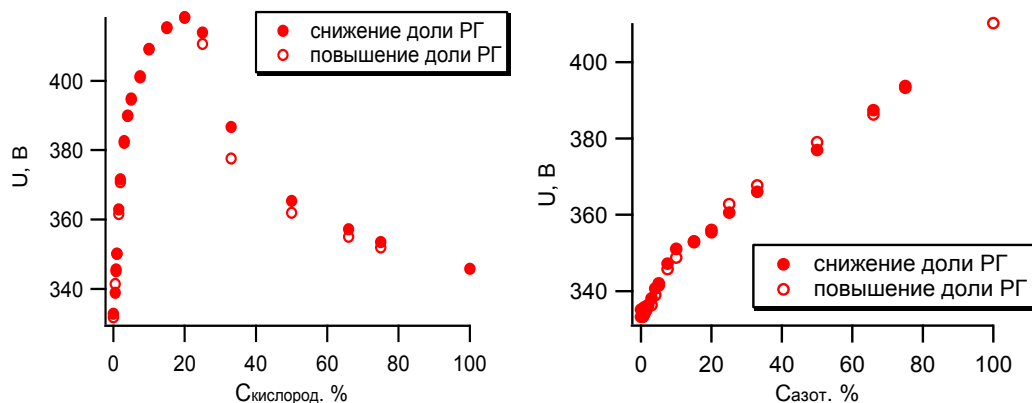


Рис. 2. Кривые гистерезиса напряжения для меди при различном соотношении аргона и кислорода (слева) и аргона и азота (справа).

Как видно из рисунка 2, площадь петель гистерезиса является малой величиной, что свидетельствует об обратимых реакциях на поверхности мишени меди и о стабильности разряда. Из графиков видно, что при увеличении доли азота постоянно

происходит увеличение напряжения. При увеличении кислорода до 20% напряжение возрастает, затем, при дальнейшем увеличении доли РГ, падает. Подобная динамика изменения параметра разряда наблюдается также и для наклона кривых ВАХ на рисунке 1. Такое поведение может быть объяснено тем, что в ходе увеличения доли РГ на поверхности медной мишени происходит формирование оксида или нитрида меди, которые обладают отличными коэффициентами вторичной эмиссии электронов (КВЭЭ). Чем ниже КВЭЭ, тем меньше электронов покидает поверхность мишени в ходе разряда, тем, следовательно, выше напряжение разряда. Очевидно, что КВЭЭ для нитрида меди ниже, чем для оксида меди при разряде в среде 100% РГ.

На рисунке 3 представлены рентгенограммы полученных пленок.

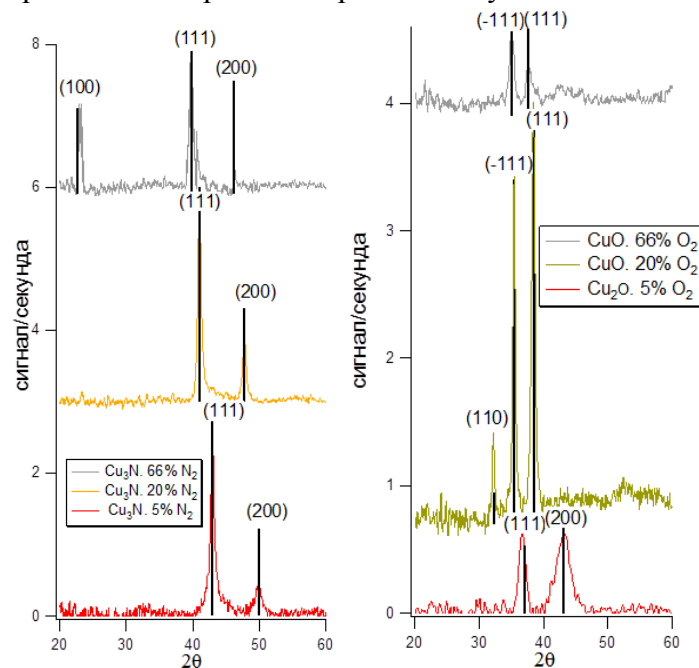


Рис. 3. Рентгенограммы пленок, полученных в среде азота (слева) и кислорода (справа). Из рентгенограмм удалены рефлексы аморфных фаз

Из правой рентгенограммы видно, что при малой концентрации кислорода происходит формирование  $\text{Cu}_2\text{O}$  на подложке при распылении. При увеличении доли РГ при напылении главные рефлексы смещаются в левую сторону. Смещение пиков происходит за счет увеличения постоянной решетки, как для соединений нитрида меди, так и для ее оксидов. Также можно сказать, что увеличение доли азота до 66% влечет за собой изменение кристаллической решетки  $\text{Cu}_3\text{N}$ , но не фазу вещества.

**Закключение.** В ходе работы построены кривые гистерезиса, выявлена ВАХ медной мишени для разряда при различных составах среды. Получены тонкие пленки  $\text{Cu}_2\text{O}$  и  $\text{Cu}_3\text{N}$ .

Установлено, что в активной среде изменяется КВЭЭ и, как следствие, изменяется напряжение разряда за счёт формирования оксида или нитрида меди на поверхности мишени. Динамика изменения наклона ВАХ изменяется аналогично напряжению при изменении состава газа, из чего можно сделать вывод, что наклон ВАХ зависит от КВЭЭ материала мишени, который в ходе изменения состава газа изменяется.

С помощью метода рентгенофазового анализа установлено, что при малой концентрации  $\text{O}_2$  происходит формирование  $\text{Cu}_2\text{O}$ . При большей –  $\text{CuO}$ . Увеличение доли  $\text{N}_2$  влечет за собой изменение кристаллической решетки и не влияет на

формируемую фазу. Также было установлено, что увеличение доли РГ влечет за собой увеличение параметра кристаллической решетки.

**Список литературы:**

1. K. Akimoto. Thin film deposition of Cu<sub>2</sub>O and application for solar cells // Solar Energy, v. 80, p. 715, (2006)
2. A Rizk, S.B. Youssef, S.K. Habib. Glow discharge characteristics when magnetron sputtering copper in different plasma atmospheres operated at low input power // Vacuum, v. 38, № 2, p. 93 (1988)
3. D. Depla, S. Heirwegh, S. Mahieu, J. Haemers, R. De Gryse. Understanding the discharge voltage behavior during reactive sputtering of oxides // Journal of applied physics, v. 101, № 013301 (2007)
4. D. Depla, S. Mahieu, R. De Gryse. Magnetron sputter deposition: Linking discharge voltage with target properties // Thin Solid Films, v. 517, p. 2825, (2009)
5. Берлин Е.В., Двинин С.А., Сейдман Л.А. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок. М.: Техносфера, 2007. – 176 с.

**Оценка физико-механических свойств, структурных составляющих сплава Ti-Nb**

Беляков А.В.<sup>1</sup>, Парилов Е.А.<sup>1</sup>, Химич М.А.<sup>2</sup>  
[infyufbnehybr@mail.ru](mailto:infyufbnehybr@mail.ru)

*Научный руководитель: Ковалевская Ж.Г., к.т.н., доцент кафедры МТМ ИФВТ ТПУ*  
*<sup>1</sup>ГОУ ВПО НИ Томский политехнический университет,*  
*<sup>2</sup>Томский государственный Университет*  
*634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30*

Развитие технологий неизбежно приводит к уменьшению размеров различных электронных компонентов. Поэтому все больше растет актуальность наноматериалов, которые позволяют создавать более совершенные устройства. Для создания любого устройства необходимо изучить свойства материала. Эмпирически доказано, что при уменьшении какой-либо структуры до размеров, не превышающих 1000 нм, происходит изменение свойств материала. При размерах меньше 10 нм происходит радикальное изменение. Поэтому для дальнейшего развития различных научных областей необходимо изучение свойств наноструктур.

Одним из методов формирования материалов с наноструктурой является интенсивная пластическая деформация (ИПД) Объемные заготовки. В роли заготовки могут быть использованы слитки сплава, способного к длительной пластической деформации без разрушения

Одним из таких сплавов является сплав Ti-Nb.

Целью данной работы являлось исследование физико-механических свойств (нано твердости и модуля упругости структурных составляющих сплава Ti-Nb. Анализировались свойства слитков разного химического состава и образцов после интенсивной пластической деформации.)

**Материалы и методика исследования.** В работе исследовались слитки сплава Ti-Nb, полученные электродуговой плавкой с не расходуемым электродом в